

汽车风洞浅谈

郝永幸 高满贵

中汽研汽车工业工程(天津)有限公司

DOI:10.12238/btr.v3i9.3391

[摘要] 本文介绍了汽车风洞的类型、结构形式、构成,以及不同类型风洞的功能,并简单回顾了国内汽车风洞的发展。

[关键词] 空气动力学风洞; 环境风洞; 整车试验

中图分类号: DF468 **文献标识码:** A

汽车风洞是为汽车在静止状态下,根据运动的相对性和相似性原理,模拟汽车实际行驶的各项指标尤其是空气参数,进行空气动力学试验的试验室。简单来说,风洞就是一个人工造风的管道。人工造风道按照一定参数,形成可控气流,在模拟状态下测量汽车各种性能参数。

关于汽车空气动力学的研究,通常是采用多种方法结合,包括理论分析、数值模拟和风洞试验等方法。随着科学技术和经济的发展,风洞试验方法变得更为普遍,更为有效。另外在汽车外形设计、整车热管理开发过程中汽车风的环境风洞试验是必不可少的环节。

随着多年的研究试验发展,根据不同功用,汽车风洞形成了不同类型。

1 不同的汽车试验风洞类型

1.1 汽车模型试验风洞。汽车模型试验风洞主要用于进行汽车比例模型,常见的模型比例有:1:2、1:2.5、3:8、1:4、1:5、1:10。汽车模型风洞一般用于研发前期阶段的试验,主要优点是造价低、测量简便。但由于模型难以真实模拟车表细节、车轮转动等,流场难能与实际汽车行驶时的空气流高度匹配,不易得到与实车相一致的试验数据,最终还要对试验结果进行校准修正。

1.2 汽车空气动力学风洞。顾名思义,空气动力学可以用来测试车辆或1:1比例的模型,这意味着空气动力学足以容纳整个车辆。整车风洞能够满足各种基本条件下的试验要求,其气流场与

实际情况有较高的匹配度。在不考虑雷诺数影响的情况下,可以获得更可靠、更准确的数据,在低阻塞比情况下,测试结果不需要过多修改。但整车风洞造价高,运行维护费用高。

1.3 汽车环境风洞。这种风洞可模拟多种气候环境,如降水(雨、雪、雾、冰、霜)、高低温、日照等。主要用于汽车整车热管理风洞中的设备种类繁多,如模拟雨雪、高低温、太阳光等。

1.4 汽车空气动力声学风洞。与空气动力学相反,气动声学风洞消除了风洞的噪声源,严格控制了试验区的背景噪声。这种风洞实验室通常被设计成具有汽车声学测量功能的半消声室。这种风洞的建造和测试运行费用也是最高的。

2 汽车风洞试验室的主要结构样式

由于汽车的空气动力学的研究都是基于航空航天动力学理论和经验的积累,所以汽车风洞试验室的结构形式也与航空航天风洞试验室类似,尤其是早期,汽车风洞甚至直接由航空风洞改造。

汽车风洞试验室通常分为:直流式、回流式、立式风洞等形式。

2.1 直流式分为开式和闭式。直流风洞直接从大气中吸气,气流通过试验段后,直接排到大气中去。试验段为半开式的空间的称作开式,试验段为封闭式的为闭式。直流风洞结构简单,造价低。实车试验时,无需要专门抽除发动机所排出的废气,缺点是这种风洞风扇功率大,

很难维持稳定的空气温湿度,风洞内的气流流场质量低,噪声大。

2.2 回流风洞亦分为开式和闭式。与直流风洞不同,回流风洞中的空气采用闭环运行,具有风机所需能量损失小、功率低的优点,噪声小,空气比较容易维持一定的温度和湿度。缺点是结构复杂,建造成本高,长时间运行时,一般需要有相应的冷却系统降温。其试验段为封闭的,更多用于汽车模型风洞中。

开式回流风洞一般指3/4开式风洞。与封闭式风洞相比,3/4开放式风洞具有较小的阻塞率,模拟试验汽车周围的流场更为接近真实情况,这样获得的试验结果也较为准确。开式回流风洞是目前新建汽车风洞中最常见的结构。但也存在一些不足之处,如室内其他部位的空气与射流混合,会产生能量损失和涡流,这将对实验产生负面影响。梅赛德斯-奔驰有一个3/4开口的回流风洞。

2.3 回流风洞还有一种形式为回流槽式。沃尔沃汽车设有回流槽式风洞。回流槽式风洞是在试验段上壁和两侧壁上开出诸多条平行槽,减小了试验段的堵塞效应也可以减小隧道壁对模型的干扰。试验段的通风特性取决于试验车辆的开合比,并随试验车辆的大小而变化,因此可以控制和调整风洞的开合比。

2.4 立式风洞。因为环境风洞需要模拟降雨和降雪日照等环境条件,设备多且复杂,为节省空间,便于布置设备,且为防止试验区域内的雨雪沿风洞流道,

流到下游的风机等部件,对风机等带来损伤,故立式风洞通常用于汽车环境风洞中。较为典型有长城立式环境风洞。

3 汽车风洞试验室的组成。

汽车风洞试验室主要由收缩段、试验段(静止段)、扩散段、动力段、转角段、稳定段等组成。

3.1收缩段的主要作用是加速气流,改善流场质量,降低紊流度。收缩段的性能主要取决于收缩比和收缩曲线形状两个因素,收缩比是指收缩段进口面积与收缩段出口面积的比值。一般汽车风洞的收缩比为2至4之间。对比曲线主要有曲线、维克斯三次曲线、双三次曲线、五次幂曲线等。

3.2试验区是风洞试验室的试验区,是整个试验室的核心部分。隔室的性能参数包括:截面尺寸、形状、平面长度。车厢的横截面积决定了可以测试的车辆的大小。为了最大限度地减小拥堵现象的影响,更准确地模拟实际道路车辆在实际空中的行驶情况,这就要求测试段尽可能大的有效面积。汽车模型风洞试验段阻塞率小于0.07。腔体的形状,一般在封闭试验段,有矩形截面、矩形角等。

风洞试验段的形状通常包括四种类型:开口型、封闭型、流线型和开槽型。

此外,在封闭风洞试验段,由于空气流边界层的影响,试验流的有效截面面积逐渐减小,沿气流方向的流速增加,从而产生负的轴向梯度静压,使试验体受到过多的前向水平浮力。因此,有必要在封闭试验段设置约 0.5° 的扩散角作为对抗措施。

3.3扩散段位于试验段的后部,扩散角约为 5° 至 6° 。通过增大风道截面积,可以降低风洞内空气的速度,并将试验段的最大空气动力能转化为压力能,减少能量损失。

3.4稳定段设有阻尼网和蜂窝状装置,其主要功能是消除涡流,稳定气流。阻尼网一般由细不锈钢丝制成。主要用于将空气涡旋转化为大量的小涡旋,使其迅速衰减。虽然湍流在离网很近的距离内增加,但当气流离开阻尼网后,湍流程度会急剧下降。蜂窝装置是由具有宽

度的金属板材制成。由于蜂窝装置沿风洞轴线有一定厚度,可以减小风洞轴线上气流的倾斜脉动。在消除气流低频脉动的同时,还可以与阻尼网一起消除空间大气的不均匀性。

3.5功率段是风洞试验室内空气流动的动力源。持续提供风洞实验室所需的气流,以满足测试要求。本实用新型主要包括电机、风扇、整流罩等。为了改善气流状态,提高流场质量,消除风机产生的涡流,通常在风机前部安装导叶,在风机后部安装止动叶。

3.6转角剖面。在回流风洞中,一般平面为四边矩形,因此需要设置四个角,使风流顺畅地沿着风洞体流动。当气流绕过拐角处时,气流会分离并形成漩涡,从而导致能量损失和气流场的不稳定。一般来说,风洞四角的能量损失约占风洞总能量损失的40-60%。因此,必须在拐角处安装转角导流板,以避免湍流分离,减少能量损失。在声学风洞中,对导叶采取消声措施是必要的。

3.7换热器。为保持汽车风洞试验室内部温度在稳定的范围,保证试验测量结果的准确性和可重复性,在汽车风洞试验室进行空气动力测量试验时,需要对气流温度进行控制,这就需要使用换热器,由系统控制。一般的汽车风洞空气动力学试验,温度要求稳定在 25°C 左右。

4 中国汽车风洞试验室的发展

新中国的汽车工业,建国初期发展比较缓慢,汽车工业技术研发落后于世界发达国家先进水平,特别是在汽车空气动力学领域,更是差距巨大。

在2008年以前,国内没有完全意义上的汽车整车风洞,仅能依靠利用航空风洞,经过临时改造,勉强进行汽车空气动力学试验,严重制约了我国汽车工业的发展,更不用提自主研发造型设计能力了。

虽然世界上第一座风洞是富兰克·H·韦纳姆于1871年就为英国航空学会建造建造成功了。但是我国直到1935年,才由清华大学航空工程系王士倬教授主持设计了国内第一个风洞。后日本侵华风洞被毁。

至40年代末,我国又陆续建了六座低速风洞,均是为航空试验用。

新中国成立后,为配合中国航天事业的发展,根据钱学森、郭永怀教授的构想,在1968年于四川省绵阳搭班组建了“中国空气动力研究与发展中心”。几十年来,该研究中心建造了50多座风洞,也主要是为航空试验用。

在汽车空气动力学领域的汽车专用风洞建设,我国始终发展不及,远落后与国际先进水平。

直至1981年,在中国空气动力研究与发展中心FL-13低速风洞先后对几个汽车车型进行了测力和流态观察风洞试验,至此,才完全展开我国汽车空气动力学风洞试验的发展。

长春汽车研究所和航天部,于1989年将航空风洞改造成汽车模型风洞。改造后的风洞配备了专用的六分力汽车天平、转台和边界层吸力装置,可进行力测试、表面压力测试和流型显示测试。对红旗轿车、解放卡车、东风卡车、客车等一系列轿车的气动特性进行了分析和测试。

1996-1998年在同济大学,研发人员将土木工程实验室风洞试验段宽3米,高2.5米,收缩比3.37,最大流速65m/s,具有基本的吸力地面模拟功能。Hd-2风洞于二〇〇四年投入服务,长17米、阔3米、高2.5米,最大流量为每秒58米,并设有气动六元量度天平、转盘及边界层吸风系统。自动控制系统在风洞中实现,风速控制、数据采集和试验监测集中在主控制室。该风洞可用于1:3比例尺汽车模型的气动测量、表面压力测量、piv流场显示和雨刮器升力测量。风洞模型实验室的支承机构为四轮定位支承机构,天平能够适应不同的模型车轮和轴距。空气动力通过支柱总成传递到力传感器。测试功能进一步丰富。

吉林大学风洞是我国第一个汽车专用风洞。是在2008年运行的。它是一个开放式试验段风洞,长8米,宽4米,高2米,收缩比5.17,最大流速60ms,电机功率1kw。配有平衡力测量系统、转台系统、电子压力扫描阀、piv系统等。风洞中采

用的支承方式是车轮的中心支承。车辆由四根支撑柱固定,支撑柱从天平延伸至风洞试验段,然后通过水平杆连接至轮轴位置。对于缩尺模型风洞试验,也可以支撑到车底的支撑硬点或其他固定点。

截至此时,中国尚没有完全的能与国际接轨的真正意义上的实车风洞,直到2009年,“上海地面交通工具风洞中心”在同济大学嘉定校区建成启用,作为国内首个整车风洞,该风洞自2005年动工,历时将近4年完工,彻底结束了中国没有汽车整车实车风洞的历史。中国才真正具备了国际水平的汽车专用实车风洞。

上海地面交通工具风洞中心占地约213亩,包括气动-声学风洞、热环境风洞、汽车造型、加工和设备维护中心,有用于模拟发动机高原低温起动的冷启动仓。气动声学风洞喷口面积为27m²,收缩比6,试验段长度15m,风机直径8.5m,风机总功率4125千瓦,最大风速250km/h,在风速160km/h时,背景噪声为61dB(A)。环境风洞喷口面积为14m²/7m²,最大风速为200km/h,温度控制范围-20~55℃,湿度控制范围5%~95%,光照范围300~1200W/m²。

于2010年6月,在荷兰召开的国际风洞中心联盟年会上,该风洞经国际风洞联盟委员和执委会评议被吸纳为国际风洞联盟中的一员,成为这一国际组织首个中国成员。

2012年3月上海泛亚技术中心整车热力学风洞投入使用,是当时国内唯一拥有热力学风洞的整车制造与研发企业。风洞安装有底盘测功机、阳

光模拟/雨雪模拟系统、冷却加热系统等设备,可最大限度模拟全球各地可能遇到的气候和路况条件。风洞喷口面积6.75m²,最高风速为250km/h,温度控制范围-40~50℃,温度转换率为0.6℃/min,湿度控制范围5%~95%,光照范围600~1200W/m²。

2012年一汽集团开始建设两座汽车环境风洞,安装有底盘测功机、雨雪模拟系统、制冷系统等设备,可用于乘用车整车热管理、雨雪模拟、光照试验等。两座风洞最大风速可达250km/h,主喷口尺寸为10.7m²,可换喷口尺寸为6.9m²,光照模拟范围300~1200W/m²,温度范围分别为-30~60℃和10~60℃。该风洞至今还在建设过程中,尚未投入使用。

2015年9月18日上汽集团热能风洞正式启动,该风洞喷口尺寸7/5m²,试验段长20m,宽12m,高6.3m,最大风速250/200km/h,温度模拟范围-40~60℃,湿度模拟范围5%~95%,光照模拟范围0~1200W/m²(兼备日升日落模拟),具备降雨/降雪等天气模拟功能,能够涵盖全球80%以上陆地的极端天气条件。

2015年投入运行的长城汽车环境风洞是国内首家完成环境风洞实验室建设的自主品牌风洞。风洞主喷口面积8m²,可变喷口6.4m²,最高风速250km/h,驻室长27m,宽13.5m,高8m,具备2个高、低温浸车间和2个车辆准备间,占地约4000m²,可开展热管理、空调系统、阳光、雨雪模拟试验。

2015年上海泛亚技术中心开始建设汽车比例模型风洞,其最大风速可到250km/h,安装有路面模拟系统,气动力天平,可对汽车油泥模型等进行空气动力

力学试验。

将于2018年建成并投入使用的中国汽车技术研究中心的汽车空气动力学-声学风洞(AAWT)和环境风洞(CWT)由世界一流风洞设计公司设计集成,并配有先进的测试设备和测量仪器,能够保证测试结果的准确性、可靠性和重复性。其中气动-声学风洞喷口面积28m²,最高风速280km/h,测试段温度稳定在25℃±0.5℃,配备有国内首台移动测量系统;环境风洞喷口面积为7m²/12m²,最高风速为250km/h,满足从轿车到重卡级别的环境风洞测试。温度控制范围-40~60℃,湿度范围5%~95%RH,光照强度300~1200W/m²,同时配备雨雪模拟系统,可实现不同要求的雨雪环境模拟。该风洞建成后将达到国际领先水平。

[参考文献]

- [1]中国空气动力学学会.流体力学实验与测量[M].该刊编辑委员会,1997.
- [2]四川省自动化与仪器仪表学会机械电子部重庆工业自动化仪表研究所.自动化与仪器仪表[M].该刊编辑部,1981.
- [3]中国空气动力研究与发展中心中国空气动力学学会.流体力学实验与测量=Experiments and measurements in fluid mechanics[M].该刊编辑委员会,1997.
- [4]黄靖.浅析汽车空气动力试验[J].世界汽车,1998,(02):11-13.
- [5]张英朝.《基于仿真与试验的汽车风洞修正研究》[M].吉林:吉林大学,2010.
- [6]陈立.关于国内汽车实车风洞试验研究现状和发展的探讨[C]//中国空气动力学学会全国工业空气动力学学术会议,2004.